心理科学进展 2018, Vol. 26, No. 2, 229–240
Advances in Psychological Science DOI: 10.3724/SP.J.1042.2018.00229

可操作物体识别过程中的两种操作动作表征*

於文苑 刘 烨 傅小兰

(中国科学院心理研究所, 脑与认知科学国家重点实验室, 北京 100101)
(中国科学院大学心理学系, 北京 100049)

摘 要 已有大量研究表明, 视觉背侧通路中的背侧–背侧通路和腹侧–背侧通路分别表征与物体相关的抓握和使用动作, 形成结构性和功能性操作动作表征。这两种操作动作表征在神经基础、激活条件、时间进程, 以及与长时记忆的联系方面都存在差异, 并且共同参与到可操作物体的识别过程中。关于结构性和功能性操作动作表征的研究不仅证明了操作动作信息对于可操作物体识别的重要性, 而且对于深入研究物体如何在大脑中表征具有重要意义。

关键词 抓握与使用系统; 结构性操作动作表征; 功能性操作动作表征; 物体识别
分类号 B842

人脑如何表征物体一直是心理学关注的热点。已有研究表明, 人类的视觉系统在识别物体的过程中, 不仅有腹侧通路(ventral stream)参与, 也有背侧通路(dorsal stream)参与, 前者表征物体的视觉特征, 后者表征与物体有关的操作动作信息, 这种参与到物体识别过程中的、与物体有关的操作动作信息的表征被称为操作动作表征(action represetation) (倪龙, 刘烨, 傅小兰, 2014; Cloutman, 2013; Freud, Plaut, & Behrmann, 2016)。随后的研究表明, 视觉的背侧通路可进一步分为背侧–背侧通路(dorso-dorsal stream)和腹侧–背侧通路(ventro-dorsal stream), 前者利用当前输入的物体的视觉和空间信息, 实现人对物体的结构性操作(structure-based action), 即对物体进行抓握, 实现空间位移; 后者利用物体的使用经验, 提取出物体使用动作的核心特征, 实现人对物体的功能性操作(function-based action), 即对物体进行使用以发挥其特定的功能(Brandi, Wohlschläger, Sorg, & Hermsdörfer, 2014; Rizzolatti & Matelli, 2003)。因此, 基于背侧通路的不同子通路, 操作动作表征可以分为结构性操作动作表征(structure-based action representation)和功能性操作动作表征(function-based action representation), 背侧–背侧通路和腹侧–背侧通路又被分别称为抓握系统(Grasp System)和使用系统(Use System) (Binkofski & Buxbaum, 2013; Buxbaum & Kalénine, 2010)。

本文梳理了关于结构性和功能性操作动作表征的研究, 综述了两种操作动作表征存在的研究证据以及与两种操作动作表征相关的理论, 并且从两种操作动作表征与长时记忆联系的差异出发, 总结了两种操作动作表征在神经基础、时间进程、激活条件方面的特点以及两者的差异, 最后提出物体识别中两种操作动作表征的进一步研究方向。

1 两种操作动作表征存在的证据

在对物体的加工过程中, 腹侧通路负责物体知识的存储和物体识别, 背侧通路负责表征物体空间信息和动作信息, 腹侧通路中的信息输入背侧通路, 与背侧通路中的空间信息和动作信息结合, 在背侧通路中形成物体的操作动作表征(Kristensen, Garcea, Mahon, & Almeida, 2016; Mahon, Kumar, & Almeida, 2013)。操作动作表征是物体表征的一个关键部分, 对物体识别具有重要作用(Cloutman, 2013), 表现为被动观看可操作物体时

收稿日期: 2017-04-12
* 中国国家自然科学基金重点项目(61632004), 中国国家自然科学基金委和德国基金会中德合作项目(NSFC 61621136008/DFG TRR-169)。
通信作者: 刘烨, E-mail: liuye@psych.ac.cn

背侧通路的激活(Chao & Martin, 2000; Mruczek, von Loga, & Kastner, 2013; Proverbio, Adorni, & D'Aniello, 2011), 以及与目标物体操作动作相一致的物体或手部动作对于目标物体识别的促进作用(Helbig, Graf, & Kiefer, 2006; Kiefer, Sim, Helbig, & Graf, 2011)。

根据不同的意图, 人可以对物体进行结构性和功能性操作, 因此, 人脑中可以形成关于物体的结构性和功能性操作动作表征。当前的研究发现, 结构性操作动作表征与功能性操作动作表征可能是相互独立的。

首先, 两种操作动作表征能力受损后的行为表现不同。当结构性操作动作表征能力受损时, 人不能将手伸到物体所在的位置并对物体进行准确抓握, 这种现象被称为视觉共济失调(optic ataxia) (Andersen, Andersen, Hwang, & Hauschild, 2014); 而当功能性操作动作表征能力受损时, 人不能对熟悉的物体进行正确的使用, 这种现象被称为失用症(apraxia) (Goldenberg, 2014)。更重要的是, 一种操作能力的受损并不总是伴随着另一种操作能力的受损。一些失用症患者不能识别并做出使用物体的手势, 但是他们的手可以准确地到达并抓握视野中的物体(Jax, Buxbaum, & Moll, 2006; Sirigu et al., 1995); 而且, 失用症患者在表征可操作物体时, 会更加依赖结构性操作动作表征, 表现为他们对于结构性操作程度高的物体的识别正确率高于结构性操作程度低的物体(Barde, Buxbaum, & Moll, 2007), 以及当他们被暂时剥夺了视觉通道的信息时, 更难做出正确的操作动作(Jax et al., 2006)。这些脑损伤患者的行为表现说明, 人脑中可能存在分别负责结构性和功能性操作动作的系统。

其次, 虽然两种操作动作表征都受到背侧通路的控制, 但是它们所依赖的神经基础不完全相同, 结构性操作动作表征更加依赖背侧通路中的背侧−背侧通路, 而功能性操作动作表征更依赖腹侧−背侧通路。背侧−背侧通路经过 V6 和顶上小叶(superior parietal lobule, SPL), 最终到达背侧前运动区(dorsal pre-motor area); 腹侧−背侧通路经过 V5/MT 和顶下小叶(inferior parietal lobule, IPL), 最终到达腹侧前运动区(ventral pre-motor areas) (Rizzolatti & Matelli, 2003)。脑损伤研究发现, 视觉共济失调主要是由背侧−背侧通路上的顶上小叶、顶内沟(intraparietal sulcus, IPS)和顶−枕叶联结(parieto-occipital junction, POJ)受损导致(Karnath & Perenin, 2005; Perenin & Vighetto, 1988), 而失用症主要是由于左侧腹侧−背侧通路上的顶下小叶受损而产生(Buxbaum, Kyle, Grossman, & Coslett, 2007; De Renzi, Pieczuro, & Vignolo, 1968; Randerath, Goldenberg, Spijkers, Li, & Hermsdörfer, 2010; Salazar-López, Schwaiger, & Hermsdoerfer, 2016)。神经影像学研究也发现了相似的结果, 当判断物体的功能性操作动作时, 左侧顶下小叶、额下回(left inferior frontal gyrus, left IFG)和后侧颞上回(posterior superior temporal gyrus, pSTG)比在判断物体的结构性操作动作时有更加显著的激活(Buxbaum, Kyle, Tang, & Detre, 2006); 当被动观看可操作物体名词时, 左侧顶下小叶、左侧中央后回(left postcentral gyrus)、左下侧中央前回(left inferior precentral gyrus)以及前辅助运动区(pre-supplementary motor area, pre-SMA)只有在观看可以进行功能性操作的物体名称时激活, 而在观看只能进行结构性操作的物体名称时没有激活(Rueschemeyer, van Rooij, Lindemann, Willems, & Bekkering, 2010)。这些脑损伤及脑成像的研究结果都表明, 结构性和功能性操作动作表征依赖不同的神经基础, 进一步证实了两种操作动作表征的存在以及两者之间的独立性。

2 两种操作动作表征的理论基础

根据背侧−背侧和腹侧−背侧通路分离的神经基础, 结合脑损伤、神经影像学以及行为研究的结果, Buxbaum 和 Kalénine (2010)提出了双动作系统理论(two action systems)。他们将双侧的背侧−背侧通路和左半球的腹侧−背侧通路分别定义为结构性操作动作系统(structure action system)和功能性操作动作系统(function action system) (Binkofski & Buxbaum, 2013; Buxbaum & Kalénine, 2010)。

结构性操作动作系统通过处理当前输入的物体的视觉和空间信息, 包括物体的形状、大小、位置, 以及物体与视网膜和躯体的相对位置, 形成与物体相符的抓握动作的表征, 即结构性操作动作表征。由于结构性操作动作系统依赖当前的信息就可以形成结构性操作动作表征, 对物体进行实时加工(on-line processing), 因此其加工过程不会占用过多的工作记忆资源, 结构性操作动作

表征可以在无注意条件, 甚至可能在无意识的条件下被激活, 但是在激活后维持的时间比较短。功能性操作动作系统主要处理和储存与物体相关的使用动作的信息。当人通过某一个特定的动作, 将某一物体使用多次后, 功能性操作动作系统会将这个使用动作的核心特征提取并储存起来, 形成物体特异性的功能性操作动作表征。功能性操作动作系统需要从长时记忆和概念系统中提取信息, 对物体进行延时加工(off-line processing), 因此其加工过程中需要占用更多的工作记忆资源, 功能性操作动作表征在有注意和意识参与的条件下才可以激活, 并且在激活后可以维持较长时间。这两种操作动作系统中形成的操作动作表征, 可以成为物体表征的一部分, 参与到物体识别的过程。此外, 由于物体的特异性知识在腹侧通路中的加工呈现出左半球的偏侧化(Tyler et al., 2004), 与之交互的腹侧−背侧通路也相应地表现出操作动作表征的左半球偏侧化。因此, 结构性操作动作系统是基于双侧的背侧−背侧通路, 功能性操作动作系统是基于左侧的腹侧−背侧通路(Binkofski & Buxbaum, 2013; Buxbaum & Kalénine, 2010; Glover, 2004; Pisella, Binkofski, Lasek, Toni, & Rossetti, 2006; Sakreida et al., 2016)。

双动作系统理论基于大脑背侧中相对独立的两条子通路, 构建了表征物体抓握动作的结构性操作动作系统和表征物体使用动作的功能性操作动作系统, 并且阐述了两种操作动作表征在工作记忆资源需求、激活条件和激活的时间进程方面的差异。值得注意的是, 双动作系统理论将两种操作动作表征系统的差异主要归因于两者与长时记忆系统之间关联程度的差异。与长时记忆系统联系紧密的功能性操作动作表征系统, 在加工过程中需要从长时记忆中提取已储存的操作动作表征, 所以需要更多工作记忆和注意资源, 激活较慢, 维持时间更长。这种解释得到了脑功能链接的证据支持, 即腹侧−背侧通路与腹侧通路的功能连接更加密切(Almeida, Fintzi, & Mahon, 2013; Kristensen et al., 2016; Mahon et al., 2013)。而且, 就对物体特征的加工偏好而言, 相比于背侧−背侧通路, 腹侧−背侧通路更多地表征物体稳定的、不随外部条件变化的可操作性特征(Sakreida et al., 2016), 说明腹侧−背侧通路更多地表征已储存的物体特征, 而不是当前输入的物体特征。这些研究结果都证实了双动作系统理论对于两种操作动作表征差异的解释的合理性。

3　两种操作动作表征系统与长时记忆系统的联系

结合双动作系统理论以及目前的研究结果, 两种操作动作表征系统与长时记忆系统的联系程度的差异主要体现在它们是否必须从长时记忆中提取后才能参与物体识别。此外, 顶下小叶可能是操作动作表征的储存和提取的关键区域(Kalénine, Buxbaum, & Coslett, 2010; Osiurak, 2013)。

3.1　两种操作动作表征的储存与提取

虽然结构性操作动作表征系统与长时记忆系统的联系程度相对较低, 但是结构性操作动作表征也可以储存在长时记忆中, 并且可以在一定的情况下被提取。而功能性操作动作系统与长时记忆系统的联系密切, 因此功能性操作动作表征不仅可以被储存, 而且会在物体加工过程中被提取。面对一个操作冲突物体(结构性操作动作和功能性操作动作不一致的物体), 如果仅要求被试摆出将要抓握或者使用该物体的手部动作, 被试摆出抓握动作的反应时比摆出使用动作的反应时更短(Jax & Buxbaum, 2010); 但是如果要求被试真实地抓握并移动物体或者真实地使用物体时, 被试做出真实的使用动作的反应时与摆出使用动作的反应时没有显著的差异, 但是被试做出抓握动作的速度比做出使用动作的速度更慢, 也比摆出抓握动作时的速度慢(Osiurak, Roche, Ramone, & Chainay, 2013)。这一方面说明, 结构性操作动作表征只在某些情况下被提取, 在仅仅摆出抓握的动作时, 被试利用当前输入的信息就可以形成这个物体的结构性操作动作表征, 因此被试做出动作的速度较快; 而在真实地将物体抓握并拿给他人时, 被试还要依赖社会信息(如对方的手的力量)和物体本身的特征信息(如物体的重量), 从而形成接下来的操作动作表征和动作计划, 这就要求提取长时记忆中储存的物体特征和相应的结构性操作动作表征, 所以被试做出相应的动作的速度较慢(Osiurak et al., 2013)。另一方面, 功能性操作动作表征不能仅根据当前输入的信息而形成, 必须被从长时记忆中提取后才可以参与到物体的识别过程中, 所以被试无论是摆出使用动作或是真实地使用物体, 都需要较长的反应时(Osiurak et al.,

2013)。因此，两种操作动作表征都可以被储存在长时记忆中，但是在不同任务要求下，结构性操作动作表征对长时记忆的依赖程度也不同，而功能性操作动作表征与长时记忆的联系更密切且更稳定。

3.2 两种操作动作表征的储存与提取的神经基础

功能性操作动作表征与长时记忆的密切联系，可能与左侧顶下小叶和长时记忆的关系有关。左侧顶下小叶是功能性操作动作表征系统的重要组成部分，相对于操作动作表征系统的其他部分，左侧顶下小叶与负责物体知识储存的腹侧通路之间有更加显著的功能连接(Almeida et al., 2013)，这说明左侧顶下小叶是操作动作表征与长时记忆联系的关键区域，操作动作表征在长时记忆中的储存和提取可能通过左侧顶下小叶进行。

首先，在功能性操作动作表征储存到长时记忆的过程中，存在左侧顶下小叶的参与。面对一个从未见过的可操作物体，被试在观看他人使用新物体(Rüther, Tettamanti, Cappa, & Bellebaum, 2014)，或自己按照指导语使用新物体(Bellebaum et al., 2013)之后，再次观看该物体时，即使被试对物体没有进行任何操作，相比于学习之前，其左侧顶下小叶和额下回都有显著的激活(Bellebaum et al., 2013; Rüther et al., 2014)。这表明左侧顶下小叶可以将与新物体有关的直接或间接的使用经验转化为该物体的功能性操作动作表征并将其储存在长时记忆中。此外，在从长时记忆中提取功能性操作动作表征时，也存在左侧顶下小叶的参与。如果对其左侧顶下小叶施加抑制性的经颅直流电刺激(tDCS)，被试对于使用物体的手势和可操作物体之间一致性的判断能力会显著降低(Evans, Edwards, Taylor, & Ietswaart, 2016)，这说明抑制左侧顶下小叶的活动会阻碍功能性操作动作表征从长时记忆中的提取。这些结果表明，左侧顶下小叶是功能性操作动作表征与长时记忆联系的关键区域。

其次，在从长时记忆中提取结构性操作动作表征时，左侧顶下小叶仍然会发挥作用。由于左侧顶下小叶受损而导致失用症的患者在对熟悉物体进行结构性操作时会产生更多的错误，而他们在对抽象物体进行结构性操作时产生的错误较少(Sunderland, Wilkins, Dineen, & Dawson, 2013)。这些左侧顶下小叶受损的患者保留了结构性操作的能力，但是不能对熟悉的物体进行正确的结构性操作，说明左侧顶下小叶可能也参与到结构性操作动作表征的提取过程中。这些结果表明，左侧顶下小叶虽然是功能性操作动作表征系统的一部分，但是可能对于两种操作动作表征的储存和提取都具有重要的作用。因此，也有观点认为，左侧顶下小叶中储存着物体的操作动作记忆，是长时记忆系统的一部分(Kalénine et al., 2010; Osiurak, 2013)。然而，目前的研究结果尚不能确定是否两者的储存和提取都需要左侧顶下小叶的参与，两种操作动作表征储存和提取的神经机制仍不明确。

4 两种操作动作表征激活的时间进程

两种操作动作表征与长时记忆的联系程度不同，导致两者的激活时间和激活后持续的时长不同。功能性操作动作表征需要从长时记忆中提取后才可以激活，因此激活的时间相对更晚，但是持续的时间更长；而结构性操作动作表征更加依赖当前输入的信息，因此激活的时间更早，但是由于没有长时记忆的参与，激活后持续时间更短，消退得更快(Binkofski & Buxbaum, 2013; Buxbaum & Kalénine, 2010)。

在对真实物体进行操作时，两种操作动作系统的激活时间支持了上述观点。对真实的操作冲突物体进行操作时，对物体的结构性操作快于功能性操作，更重要的是，先进行的结构性操作不会对接下来的功能性操作的反应速度产生影响，而先进行的功能性操作却使随后的结构性操作的反应减慢(Jax & Buxbaum, 2010)，这表明结构性操作动作系统激活后的持续时间短，不能对之后进行的功能性操作动作产生影响；但是功能性操作动作系统激活后持续的时间长，因此会对在其之后进行的结构性操作动作产生影响。

在语义理解过程中，结构性操作动作表征激活早但持续时间短，功能性操作动作表征激活晚但持续时间长。Bub 和 Masson 等人在他们的系列研究中，为被试呈现物体名称，或表达结构性或功能性操作动词的句子，并呈现操作动作手势，要求被试对呈现的手势进行模仿。结果发现，无论是单纯地视觉呈现句子(Masson, Bub, & Newton-Taylor, 2008; Masson, Bub, & Lavelle, 2013)，在呈现句子后再呈现物体图片(Bub & Masson, 2010)，还是听觉呈现物体名称(Bub & Masson, 2012)，都表现出了更加明显、稳定的功能性操作动作启动

效应，当要模仿的手势适合操作物体名称所指代的物体时，被试的反应时更快；而且，相对于结构性操作动作启动效应，功能性操作动作启动效应可以维持更长时间。但是结构性操作动作启动效应并非在任何条件下都会产生，也没有发现结构性操作动作表征激活早于功能性操作动作表征激活的证据，甚至有研究得出相反的结果(Bub & Masson, 2012)。这可能与物体呈现的形式有关，物体均以词语的形式出现，而结构性操作动作表征更加依赖物体的视觉信息，因此这种实验范式可能不能有效激活结构性操作动作表征。其他研究者采用了改进的实验范式，发现如果在呈现句子之后，为被试呈现物体图片，并要求被试选出句子中出现的物体时，与目标物体的操作动作相同的干扰项会获得更多的注视，结构性和功能性的操作动作干扰效应均会出现，而且结构性操作动作干扰效应出现更早，而功能性操作动作干扰效应持续时间更长(Lee, Middleton, Mirman, Kalénine, & Buxbaum, 2013)。这一研究更加直接、明确地验证了双动作理论中关于两种操作动作表征激活的时间进程的观点。

尽管很多研究证据都支持功能性操作动作表征激活可以维持相对较长的时间，但是对于结构性操作动作表征激活的时间进程仍然存在争议，这可能与研究中采用的激活两种操作动作表征的方式有关，不同的信息模态和任务要求都会影响两种操作动作表征的激活状态，从而影响其激活的时间进程。探究两种操作动作表征激活的时间进程，也需要探究两种操作动作表征的激活条件，从而针对不同条件下两种操作动作表征的激活状态来具体地讨论两者在激活的时间进程方面的特点与差异。

5　两种操作动作表征的激活条件

结构性和功能性操作动作表征可以被不同模态的信息激活，而且它们的激活可能受到注意、意识和背景信息的影响。探究两种操作动作表征的激活条件对于认识两种操作动作表征的差异，了解两种操作动作表征激活时间进程，以及确定其在物体识别过程中的作用具有重要意义。

5.1　不同信息模态下两种操作动作表征的激活

操作动作表征能被多种模态的信息激活，包括视觉模态、语义模态和动作模态的信息(Rey, Roche, Versace, & Chainay, 2015)。而两种操作动作表征对于不同模态的信息会分别表现出不同的激活状态。首先，被动观看物体图片可以激活结构性操作动作表征，说明结构性操作动作表征能被单独的视觉模态的信息激活(Mcnair & Harris, 2012)，而被动观看物体图片不足以激活功能性操作动作表征，需要被试进行一定的操作动作才可以激活，说明功能性操作动作表征在视觉模态和动作模态信息结合的条件下才可以激活(Bub, Masson, & Cree, 2008; Squires, Macdonald, Culham, & Snow, 2016)。其次，被动观看物体名称不能激活两种操作动作表征，但被动观看句子中的物体名称可以激活功能性操作动作表征；经过语义判断的物体名称也可以激活两种操作动作表征(Bub et al., 2008; Masson et al., 2008)，说明结构性操作动作表征只能被经过高水平加工的语义模态信息激活，而低水平加工的语义模态信息结合了一定的语境后就可以激活功能性操作动作表征。但是，也有 fMRI 研究发现，单独的物体名称就可以激活两种操作动作表征(Rueschemeyer et al., 2010)。这可能是由于 Bub 等人的研究采用的是行为研究的方法，而激活效应没有体现在行为结果上。第三，两种操作动作表征都可以分别被表达结构性或功能性操作动作的手势(Bub, Masson, & Lin, 2015)，以及句子中表达结构性或功能性操作动作的动词激活，说明动作模态的信息能激活两种操作动作表征(Bub & Masson, 2010)。这些结果说明，结构性和功能性操作动作表征都能被视觉模态信息激活，但是由于结构性操作动作表征是实时加工，因此其激活更依赖于当前输入的视觉模态信息；而功能性操作动作表征与长时记忆的联系更强，因此它更容易被语义模态的信息激活。此外，动作模态的信息会引起更强的运动系统的激活，从而使两种操作动作表征的激活表现得更加明显。

5.2　两种操作动作表征的自动激活

操作动作的表征激活是否受到注意的筛选和认知资源的调控存在争议，两种操作动作表征能否自动激活也缺乏相应的研究。

被动观看物体或进行与物体操作动作无关的任务时表现出的操作动作表征激活效应是支持操作动作表征自动激活的主要证据。行为研究发现，物体把手的朝向与被试判断物体正置或倒立的反应手朝向之间存在一致性效应，与物体把手朝向

相同的反应手的反应速度更快(Tucker & Ellis, 1998); 此外, 被试观看对物体的非典型操作动作(用手按脚踏板, 用脚捡铅笔)时, 对物体进行典型操作的身体部位(脚踏板−脚部; 铅笔−手部)的运动诱发电位(MEP)仍然会显著增强(Senna, Bolognini, & Maravita, 2014), 这表明物体的操作动作表征可以在与当前任务无关的状态下激活。神经生理学和神经影像学的研究进一步发现, 被动观看可操作物体可以激活与操作物体相关的运动皮层(Chao & Martin, 2000; Proverbio, 2012; Proverbio et al., 2011)。这些研究更直接地说明, 操作动作表征是可以自动激活的。然而, 这些研究没有详细区分结构性和功能性操作动作表征。将操作动作表征进一步划分, 为被试呈现可结构性操作的物体名称和可功能性操作的物体名称, 要求被试判断名称是否为真词, 发现与结构性和功能性操作相关的运动皮层会分别激活(Rueschemeyer et al., 2010), 说明两种操作动作表征均可以在执行与操作动作无关的任务时自动激活。

不过也有研究者对于操作动作表征的自动激活提出质疑。一方面, 行为实验中表现出的物体把手的朝向与反应手朝向之间的一致性效应, 可能不是由于物体把手激活了操作动作表征, 而只是由于物体把手引发了被试的空间注意的转移。不过, 有研究对这一质疑进行了反驳, 如果在实验的任务前加入反向的“刺激−反应一致性”的任务, 即在注视点的左侧或右侧呈现刺激, 被试要用与刺激出现位置相反一侧的手进行反应, 从而抑制了物体把手对于被试空间注意转移的影响。在这种情况下, 仍然表现出物体把手朝向与反应手朝向的一致性(Ambrosecchia, Marino, Gawryszewski, & Riggio, 2015)。EEG 研究发现, 在物体把手朝向与反应手之间的一致性产生的过程中, 包含了注意转移导致的 α 波的减少, 以及操作动作表征激活导致的 P3 成分的增强(Kourtis & Vingerhoets, 2015)。这些结果都说明物体把手朝向和反应手朝向的一致性效应不仅是由于物体的显著特征引发的注意转移, 也是由于自动激活的操作动作表征引发的。另一方面, 物体的操作动作表征并非在任何状态下都可以自动激活, 认知负荷或工作记忆负荷的大小对于操作动作表征是否激活具有影响。在高工作记忆负荷状态下, 被试对物体进行典型操作和非典型操作的反应时没有差异(Randerath, Martin, & Frey, 2013), 被动观看可操作物体也不会影响运动皮层的激活(Freeman, Itthipuripat, & Aron, 2016)。这说明操作动作表征受当下工作记忆的状态的影响, 需要认知资源的投入才能够激活。

然而, 这些关于操作动作表征的自动激活的研究大多没有将其进一步划分为结构性和功能性操作动作表征。目前只有研究表明, 结构性操作动作表征的激活可能受到功能性操作动作表征的影响(Jax & Buxbaum, 2010; Randerath et al., 2013)。很少研究来分别考察两种操作动作表征能否自动激活。有研究者认为, 当看到可操作物体时, 与其相关的所有动作表征均可以被自动激活, 但是与当前目标和任务无关的操作动作表征会被抑制, 从而保证当前任务的顺利进行(Cisek, 2007)。这与上文中提到的操作动作表征的激活受到认知资源调控的观点相一致(Freeman et al., 2016; Randerath et al., 2013)。但是没有研究证明认知资源对于两种操作动作表征的自动激活调控的程度是否相同。根据双动作系统理论, 结构性操作动作表征的加工具有即时性, 与先前知识经验的联系较少, 更加依赖当前的信息输入, 那么相对于功能性操作动作表征, 结构性操作动作表征可能更少地受到认知资源的调控, 更可能自动激活。而功能性操作动作表征与长时记忆中的信息更相关, 其激活可能会占用更多的认知资源, 会受到当前认知负荷的影响, 更多地受到认知资源的限制。因此, 关于两种操作动作表征的自动激活还有待于进一步的研究。

5.3 无意识加工

操作动作表征不仅可以在没有注意的条件下自动激活, 甚至可以在阈下知觉的条件下激活。处于阈下知觉水平的物体会引发物体把手朝向与反应手之间的一致性效应(Pappas & Mack, 2008), 这为操作动作表征的无意识激活提供了证据。此外, 有研究分别采用视觉掩蔽范式(backward masking)和连续闪烁抑制范式(contiuous flash suppression)来使启动项物体保持在阈下知觉水平, 然后要求被试对于目标物体进行类别判断(Almeida, Mahon, Nakayama, & Caramazza, 2008)。在视觉掩蔽范式的实验中, 被掩蔽的视觉刺激可以通过背侧和腹侧两条视觉通路(Breitmeyer & Ogmen, 2000),对于可操作物体和不可操作物体的类别判

断都表现出启动效应; 但是在连续闪烁抑制范式的实验中, 被掩蔽的视觉刺激只可以通过背侧视觉通路(Fang & He, 2005),只在对可操作物体进行类别判断时表现出启动效应(Almeida et al., 2008)。这不仅说明了背侧通路在物体识别中的参与以及物体识别中操作动作表征的存在, 也为操作动作表征可以在无意识条件下激活这一观点提供了支持。后续研究发现, 这种操作动作表征的无意识激活可能与可操作物体的长条形形状相关(Ludwig, Kathmann, Sterzer, & Hesselmann, 2015)。这说明, 上述实验(Almeida et al., 2008)中发现的无意识激活的操作动作表征可能是结构性操作动作表征, 因为长条形的形状意味着物体适于被抓握(Almeida et al., 2014)。但是, 还没有实验来探究功能性操作动作表征是否可以在无意识条件下激活。

5.4　背景的影响

操作动作表征的激活还受到物体本身所处背景(context)的影响(赵楠, 公艳艳, 赵亮, 陈强, 王勇慧, 2016; Borghi & Riggio, 2015)。物体与其他同时出现的物体之间的联系, 物体名称所处的语境, 以及物体与观察者的相对位置, 都会对操作动作表征的激活产生影响。

5.4.1　情景中其他物体的作用

当目标物体与其他物体同时呈现时, 其他物体为目标物体构成一个情景。这个情景提供了与操作目的相关的信息, 从而影响相应的操作动作表征的激活。当被试通过结构性或功能性操作动作来对处于结构性或功能性操作情景的物体进行分类判断时, 会表现出反应动作类型与物体所处情景类型的一致性效应(Kalénine, Shapiro, Flumini, Borghi, & Buxbaum, 2014)。如果在功能性操作情境中呈现物体的同时, 加入表达结构性或功能性操作动作的手势, 然后让被试判断物体与其他物体是否相关, 也会发现情景与动作手势的一致性效应：操作动作手势表达的动作与物体情景的一致性会加快被试的反应速度(Borghi, Flumini, Natraj, & Wheaton, 2012)。 ERP 的研究进一步发现, 功能性操作情景中的物体可以激活负责功能性操作动作表征的大脑左侧额−顶区(Natraj et al., 2013)。这些研究结果都表明, 与当前情景更相关的操作动作表征更容易被激活, 从而说明了情景中其他物体对物体的两种操作动作表征激活的影响。

5.4.2　句子中语境的作用

不仅物体所处的情景会影响操作动作表征, 物体名称所处的语境同样也会影响与物体有关的操作动作表征的激活(Lee et al., 2013)。在阅读了以结构性或功能性操作动作动词为谓语, 以物体名称为宾语的句子后, 要求被试从 4 张物体图片中选出在句子中出现过的物体, 那些操作动作与句子中操作动作相符的非目标物体会对被试的选择产生更强的干扰效应, 而且相对于功能性操作动作动词, 结构性操作动作动词引发的干扰效应出现的时间更早(Lee et al., 2013)。这一方面说明, 两种操作动作表征的激活均受到语境的影响; 另一方面, 也体现了两种操作动作表征的分离, 它们分别在对物体加工的不同阶段, 受到背景中信息的影响。

5.4.3　物体与观察者的相对位置

操作动作表征的激活也受到物体与观察者相对位置的影响。当观察者的视角不是操作者的视角时, 物体把手朝向与反应手朝向的一致性效应不再出现(Yoon, Humphreys, & Riddoch, 2010), 这说明对物体的结构性操作动作表征可能是以自我为参照体系的, 当参照体系改变时操作动作表征就不会激活。但是还没有研究表明功能性操作动作表征也是以自我为参照体系进行的。此外, 物体与观察者之间的距离也会影响操作动作表征。当物体与观察者距离较近时, 两种操作动作表征都更容易激活(Costantini, Ambrosini, Tieri, Sinigaglia, & Committeri, 2010; Kalénine, Wamain, Decroix, & Coello, 2016), 而且这种效应在物体被替换为物体名称时仍然存在(Costantini, Ambrosini, Scorolli, & Borghi, 2011)。但是这些研究中发现距离对于功能性操作动作表征的影响更大, 这与双动作系统理论相悖。因为结构性操作动作表征更依赖在线加工和当前输入的与物体有关的空间信息, 应该更容易受到距离的影响。之后的研究可以通过改进实验方法来进一步确认距离对两种操作动作表征激活的影响。

综上所述, 两种操作动作表征的激活受到各种背景条件的影响, 其中包括物体与周边物体的关系, 物体所处的操作情景或语境, 以及物体与观察者之间的相对位置。这说明操作动作表征可以基于当前需求, 适应灵活多样的变化, 对于不同条件下的物体识别都具有重要作用。

6 研究展望

上述的各方面研究都为两种操作动作表征的存在，以及两者在神经基础、激活条件、时间进程等方面的差异提供了直接或间接的证据，同时也表明了仍然存在的争议。除此之外，关于两种操作动作表征的研究还存在很多可以进一步探究的问题。

第一，尚未形成成熟的、被广泛使用的用于分别启动两种操作动作表征的实验范式。虽然被动观看可操作物体就可以激活操作动作表征，但是不能仅通过被动观看的方式特定地激活结构性或功能性操作动作表征。先前的研究中基本运用操作动作手势、操作动作情景和操作动作动词来分别启动结构性和功能性操作动作表征。这些方式可以有针对性地启动操作动作表征。但是这些方法对于实验材料的要求很高，因此实验材料的效度对于操作动作表征的启动具有很大的影响。因此，在今后的研究中需要创造和尝试新的实验方式，来有效地启动和分离两种操作动作表征。

第二，虽然先前很多研究探讨了两种操作动作表征在不同条件下的激活状态，但是其他影响两种操作动作表征激活的因素还有待研究，如对物体的加工水平。在视觉通路中，对物体特征的加工是分层级的，后端的脑区负责加工物体的一般性特征，对物体进行粗糙加工，前端的脑区负责加工物体的特异性特征，对物体进行精细加工(Roth & Zohary, 2015; Tyler et al., 2013, 2004)。相比于结构性操作动作表征，功能性操作动作表征与物体的特异性特征的联系更加密切。因此，结构性操作动作表征可能在粗糙的物体加工后就可以激活，但功能性操作动作表征的激活可能要以精细的物体加工为基础。今后可以通过操纵对物体的加工水平来确定其对于两种操作动作表征激活的影响，从而对两种操作动作表征的特性进行进一步的研究。

第三，背侧−背侧通路和腹侧−背侧通路中的各个脑区在两种操作动作表征中的功能有待于进一步的细化。目前的研究可以确定背侧系统的两条子通路分别负责结构性和功能性操作动作表征，而且可以确定两条通路上的一些组成部分的具体作用，例如，左侧顶下小叶负责储存和提取功能性操作动作表征(Bellebaum et al., 2013; Evans et al., 2016; Rüther et al., 2014)，左侧缘上回负责根据当前的需求对两种操作动作表征进行选择，从而将其中一种表征转化为实际的操作动作(Schubotz, Wurm, Wittmann, & von Cramon, 2014; Watson & Buxbaurn, 2015)。但是通路上的各个组成部分在操作动作表征中具体发挥怎样的作用仍然需要进一步探索。

第四，关于两种操作动作表征的形成、发展和衰退过程的研究比较缺乏。目前关于两种操作动作表征的研究都是基于成人被试的研究，而很少有基于儿童和老年人的研究。首先，两种操作动作表征在儿童的哪一发展阶段形成还未有定论。18 ~ 24 个月的婴幼儿已经表现出对于物体的长轴的偏好(Smith, Street, Jones, & James, 2014)，并且通过旋转物体的朝向使长轴所在的平面面对自己，以长轴为基础对物体的特征进行整合(James, Jones, Smith, & Swain, 2014)。这表明处于这一发展阶段的婴幼儿对物体的操作会参与到其对物体的表征过程中。5 ~ 7 岁的儿童的运动皮层在被动看到自己使用过的新物体，或被动听到自己进行过的及物动作的动词时显著地激活(James & Swain, 2011)，这表明处于这一发展阶段的儿童已经可以对物体进行操作动作表征。然而，儿童的两种操作动作表征形成和发展的具体阶段，以及这种能力发展与其他认知能力发展的关系还不能确定。同样，两种操作动作表征随着年龄增长的衰减过程也不明确。有研究表明老年人对物体的结构性操作能力较年轻人有所下降，对物体的功能性操作能力与年轻人并无差异(Cicerale, Ambron, Lingnau, & Rumiati, 2014)。但是仍不能确定两种操作动作表征也受到年龄的影响。因此，可以从发展的角度探讨两种操作动作表征形成和衰退的具体阶段及其差异，以及其形成和衰退对于其他认知能力的影响。

第五，神经系统的疾病对于两种操作动作表征的影响尚不明确。很多脑疾病患者都会出现失用症的症状，如卒中、阿尔茨海默症和精神分裂症。但是这些疾病导致的失用症在受损部位和行为表现中存在差异。虽然这些疾病都与顶叶和颞叶的损伤有关，但是阿尔茨海默症患者的失用症是由右侧的顶叶损伤导致的，因此也表现出更明显的视觉空间能力的障碍(Li et al., 2016)。而精神分裂症患者的失用症除了与腹侧−背侧通路的损

伤有关外，也与负责自我意识的右侧岛叶的损伤有关(Stegmayer et al., 2016)。因此，今后的研究可以来探索不同脑疾病患者操作动作表征能力受损的神经机制，从而增加对于这些脑疾病的认识。

第六，操作动作表征与记忆、情绪之间的联系有待进一步探索。操作动作表征反映了视觉系统和动作系统的联系，但是对物体的表征不仅涉及到视觉系统和动作系统，还可能涉及到记忆系统和情绪系统(Martin, 2016)。已有研究开始关注物体的危险性对于操作动作表征激活的影响，发现物体的危险性会减弱操作动作表征的激活程度(Anelli, Ranzini, Nicoletti, & Borghi, 2013)，这说明负性情绪会影响操作动作表征的激活。因此，今后的研究可以从更宏观的角度出发，探究操作动作表征系统与记忆系统和情绪系统之间的关系。

参考文献

倪龙, 刘烨, 傅小兰. (2014). 可操作性在物体表征中的作用. *心理科学进展, 22*(4), 625–639.

赵楠, 公艳艳, 赵亮, 陈强, 王勇慧. (2016). 行动语义、客体背景和判断任务对客体动作承载性的影响. *心理科学进展, 24*(11), 1747–1757.

Almeida, J., Fintzi, A. R., & Mahon, B. Z. (2013). Tool manipulation knowledge is retrieved by way of the ventral visual object processing pathway. *Cortex, 49*(9), 2334–2344.

Almeida, J., Mahon, B. Z., Nakayama, K., & Caramazza, A. (2008). Unconscious processing dissociates along categorical lines. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 105*(39), 15214–15218.

Almeida, J., Mahon, B. Z., Zapater-Raberov, V., Dziuba, A., Cabaço, T., Marques, J. F., & Caramazza, A. (2014). Grasping with the eyes: The role of elongation in visual recognition of manipulable objects. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience, 14*(1), 319–335.

Ambrosecchia, M., Marino, B. F. M., Gawryszewski, L. G., & Riggio, L. (2015). Spatial stimulus-response compatibility and affordance effects are not ruled by the same mechanisms. *Frontiers in Human Neuroscience, 9*, 283.

Andersen, R. A., Andersen, K. N., Hwang, E. J., & Hauschild, M. (2014). Optic ataxia: From balint's syndrome to the parietal reach region. *Neuron, 81*(5), 967–983.

Anelli, F., Ranzini, M., Nicoletti, R., & Borghi, A. M. (2013). Perceiving object dangerousness: An escape from pain? *Experimental Brain Research, 228*(4), 457–466.

Barde, L. H., Buxbaum, L. J., & Moll, A. D. (2007). Abnormal reliance on object structure in apraxics' learning of novel object-related actions. *Journal of the International Neuropsychological Society, 13*(6), 997–1008.

Bellebaum, C., Tettamanti, M., Marchetta, E., Della Rosa, P., Rizzo, G., Daum, I., & Cappa, S. F. (2013). Neural representations of unfamiliar objects are modulated by sensorimotor experience. *Cortex, 49*(4), 1110–1125.

Binkofski, F., & Buxbaum, L. J. (2013). Two action systems in the human brain. *Brain and Language, 127*(2), 222–229.

Borghi, A. M., Flumini, A., Natraj, N., & Wheaton, L. A. (2012). One hand, two objects: Emergence of affordance in contexts. *Brain and Cognition, 80*(1), 64–73.

Borghi, A. M., & Riggio, L. (2015). Stable and variable affordances are both automatic and flexible. *Frontiers in Human Neuroscience, 9*, 351.

Brandi, M. L., Wohlschläger, A., Sorg, C., & Hermsdörfer, J. (2014). The neural correlates of planning and executing actual tool use. *Journal of Neuroscience, 34*(39), 13183–13194.

Breitmeyer, B. G., & Ogmen, H. (2000). Recent models and findings in visual backward masking: A comparison, review, and update. *Perception & Psychophysics, 62*(8), 1572–1595.

Bub, D. N., & Masson, M. E. J. (2010). On the nature of hand-action representations evoked during written sentence comprehension. *Cognition, 116*(3), 394–408.

Bub, D. N., & Masson, M. E. J. (2012). On the dynamics of action representations evoked by names of manipulable objects. *Journal of Experimental Psychology: General, 141*(3), 502–517.

Bub, D. N., Masson, M. E. J., & Cree, G. S. (2008). Evocation of functional and volumetric gestural knowledge by objects and words. *Cognition, 106*(1), 27–58.

Bub, D. N., Masson, M. E. J., & Lin, T. (2015). Components of action representations evoked when identifying manipulable objects. *Frontiers in Human Neuroscience, 9*, 42.

Buxbaum, L. J., & Kalénine, S. (2010). Action knowledge, visuomotor activation, and embodiment in the two action systems. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1191*(1), 201–218.

Buxbaum, L. J., Kyle, K., Grossman, M., & Coslett, H. B. (2007). Left inferior parietal representations for skilled hand-object interactions: Evidence from stroke and corticobasal degeneration. *Cortex, 43*(3), 411–423.

Buxbaum, L. J., Kyle, K. M., Tang, K., & Detre, J. A. (2006). Neural substrates of knowledge of hand postures for object grasping and functional object use: Evidence from fMRI. *Brain Research, 1117*, 175–185.

Chao, L. L., & Martin, A. (2000). Representation of manipulable man-made objects in the dorsal stream.

Neuroimage, 12(4), 478–484.

Cicerale, A., Ambron, E., Lingnau, A., & Rumiati, R. I. (2014). A kinematic analysis of age-related changes in grasping to use and grasping to move common objects. *Acta Psychologica, 151*, 134–142.

Cisek, P. (2007). Cortical mechanisms of action selection: the affordance competition hypothesis. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 362*(1485), 1585–1599.

Cloutman, L. L. (2013). Interaction between dorsal and ventral processing streams: Where, when and how? *Brain and Language, 127*(2), 251–263.

Costantini, M., Ambrosini, E., Scorolli, C., & Borghi, A. M. (2011). When objects are close to me: Affordances in the peripersonal space. *Psychonomic Bulletin & Review, 18*(2), 302–308.

Costantini, M., Ambrosini, E., Tieri, G., Sinigaglia, C., & Committeri, G. (2010). Where does an object trigger an action? An investigation about affordances in space. *Experimental Brain Research, 207*(1-2), 95–103.

De Renzi, E., Pieczuro, A., & Vignolo, L. A. (1968). Ideational apraxia: A quantitative study. *Neuropsychologia, 6*(1), 41–52.

Evans, C., Edwards, M. G., Taylor, L. J., & Ietswaart, M. (2016). Perceptual decisions regarding object manipulation are selectively impaired in apraxia or when tDCS is applied over the left IPL. *Neuropsychologia, 86*, 153–166.

Fang, F., & He, S. (2005). Cortical responses to invisible objects in the human dorsal and ventral pathways. *Nature Neuroscience, 8*(10), 1380–1385.

Freeman, S. M., Itthipuripat, S., & Aron, A. R. (2016). High working memory load increases intracortical inhibition in primary motor cortex and diminishes the motor affordance effect. *Journal of Neuroscience, 36*(20), 5544–5555.

Freud, E., Plaut, D. C., & Behrmann, M. (2016). 'What' is happening in the dorsal visual pathway. *Trends in Cognitive Sciences, 20*(10), 773–784.

Glover, S. (2004). Separate visual representations in the planning and control of action. *Behavioral and Brain Sciences, 27*(1), 3–24; discussion 24–78.

Goldenberg, G. (2014). Apraxia: The cognitive side of motor control. *Cortex, 57*, 270–274.

Helbig, H. B., Graf, M., & Kiefer, M. (2006). The role of action representations in visual object recognition. *Experimental Brain Research, 174*(2), 221–228.

James, K. H., Jones, S. S., Smith, L. B., & Swain, S. N. (2014). Young children's self-generated object views and object recognition. *Journal of Cognition and Development, 15*(3), 393–401.

James, K. H., & Swain, S. N. (2011). Only self-generated actions create sensori-motor systems in the developing brain. *Developmental Science, 14*(4), 673–678.

Jax, S. A., & Buxbaum, L. J. (2010). Response interference between functional and structural actions linked to the same familiar object. *Cognition, 115*(2), 350–355.

Jax, S. A., Buxbaum, L. J., & Moll, A. D. (2006). Deficits in movement planning and intrinsic coordinate control in ideomotor apraxia. *Journal of Cognitive Neuroscience, 18*(12), 2063–2076.

Kalénine, S., Buxbaum, L. J., & Coslett, H. B. (2010). Critical brain regions for action recognition: Lesion symptom mapping in left hemisphere stroke. *Brain, 133*, 3269–3280.

Kalénine, S., Shapiro, A. D., Flumini, A., Borghi, A. M., & Buxbaum, L. J. (2014). Visual context modulates potentiation of grasp types during semantic object categorization. *Psychonomic Bulletin & Review, 21*(3), 645–651.

Kalénine, S., Wamain, Y., Decroix, J., & Coello, Y. (2016). Conflict between object structural and functional affordances in peripersonal space. *Cognition, 155*, 1–7.

Karnath, H. O., & Perenin, M. T. (2005). Cortical control of visually guided reaching: Evidence from patients with optic ataxia. *Cerebral Cortex, 15*(10), 1561–1569.

Kiefer, M., Sim, E.-J., Helbig, H., & Graf, M. (2011). Tracking the time course of action priming on object recognition: Evidence for fast and slow influences of action on perception. *Journal of Cognitive Neuroscience, 23*(8), 1864–1874.

Kourtis, D., & Vingerhoets, G. (2015). Perceiving objects by their function: An EEG study on feature saliency and prehensile affordances. *Biological Psychology, 110*, 138–147.

Kristensen, S., Garcea, F. E., Mahon, B. Z., & Almeida, J. (2016). Temporal frequency tuning reveals interactions between the dorsal and ventral visual streams. *Journal of Cognitive Neuroscience, 28*(9), 1295–1302.

Lee, C.-L., Middleton, E., Mirman, D., Kalénine, S., & Buxbaum, L. J. (2013). Incidental and context-responsive activation of structure- and function-based action features during object identification. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 39*(1), 257–270.

Li, X. D., Jia, S. H., Zhou, Z., Hou, C. L., Zheng, W. J., Rong, P., & Jiao, J. S. (2016). The gesture imitation in Alzheimer's disease dementia and amnestic mild cognitive impairment. *Journal of Alzheimer's Disease, 53*(4), 1577–1584.

Ludwig, K., Kathmann, N., Sterzer, P., & Hesselmann, G. (2015). Investigating category- and shape-selective neural

processing in ventral and dorsal visual stream under interocular suppression. *Human Brain Mapping, 36*(1), 137–149.

Mahon, B. Z., Kumar, N., & Almeida, J. (2013). Spatial frequency tuning reveals interactions between the dorsal and ventral visual systems. *Journal of Cognitive Neuroscience, 25*(6), 862–871.

Martin, A. (2016). GRAPES-Grounding representations in action, perception, and emotion systems: How object properties and categories are represented in the human brain. *Psychonomic Bulletin & Review, 23*(4), 979–990.

Masson, M. E. J., Bub, D. N., & Newton-Taylor, M. (2008). Language-based access to gestural components of conceptual knowledge. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 61*(6), 869–882.

Masson, M. E. J., Bub, D. N., & Lavelle, H. (2013). Dynamic evocation of hand action representations during sentence comprehension. *Journal of Experimental Psychology: General, 142*(3), 742–762.

Mcnair, N. A., & Harris, I. M. (2012). Disentangling the contributions of grasp and action representations in the recognition of manipulable objects. *Experimental Brain Research, 220*(1), 71–77.

Mruczek, R. E. B., von Loga, I. S., & Kastner, S. (2013). The representation of tool and non-tool object information in the human intraparietal sulcus. *Journal of Neurophysiology, 109*(12), 2883–2896.

Natraj, N., Poole, V., Mizelle, J. C., Flumini, A., Borghi, A. M., & Wheaton, L. A. (2013). Context and hand posture modulate the neural dynamics of tool-object perception. *Neuropsychologia, 51*(3), 506–519.

Osiurak, F. (2013). Apraxia of tool use is not a matter of affordances. *Frontiers in Human Neuroscience, 7*, 890.

Osiurak, F., Roche, K., Ramone, J., & Chainay, H. (2013). Handing a tool to someone can take more time than using it. *Cognition, 128*(1), 76–81.

Pappas, Z., & Mack, A. (2008). Potentiation of action by undetected affordant objects. *Visual Cognition, 16*(7), 892–915.

Perenin, M. T., & Vighetto, A. (1988). Optic ataxia: A specific disruption in visuomotor mechanisms. *Brain, 111*, 643–674.

Pisella, L., Binkofski, F., Lasek, K., Toni, I., & Rossetti, Y. (2006). No double-dissociation between optic ataxia and visual agnosia: Multiple sub-streams for multiple visuo-manual integrations. *Neuropsychologia, 44*(13), 2734–2748.

Proverbio, A. M. (2012). Tool perception suppresses 10-12 Hz mu rhythm of EEG over the somatosensory area. *Biological Psychology, 91*(1), 1–7.

Proverbio, A. M., Adorni, R., & D'Aniello, G. E. (2011). 250 ms to code for action affordance during observation of manipulable objects. *Neuropsychologia, 49*(9), 2711–2717.

Randerath, J., Goldenberg, G., Spijkers, W., Li, Y., & Hermsdörfer, J. (2010). Different left brain regions are essential for grasping a tool compared with its subsequent use. *Neuroimage, 53*(1), 171–180.

Randerath, J., Martin, K. R., & Frey, S. H. (2013). Are tool properties always processed automatically? The role of tool use context and task complexity. *Cortex, 49*(6), 1679–1693.

Rey, A. E., Roche, K., Versace, R., & Chainay, H. (2015). Manipulation gesture effect in visual and auditory presentations: The link between tools in perceptual and motor tasks. *Frontiers in Psychology, 6*, 1031.

Rizzolatti, G., & Matelli, M. (2003). Two different streams form the dorsal visual system: Anatomy and functions. *Experimental Brain Research, 153*(2), 146–157.

Roth, Z. N., & Zohary, E. (2015). Position and identity information available in fMRI patterns of activity in human visual cortex. *Journal of Neuroscience, 35*(33), 11559–11571.

Rueschemeyer, S. A., van Rooij, D., Lindemann, O., Willems, R. M., & Bekkering, H. (2010). The function of words: Distinct neural correlates for words denoting differently manipulable objects. *Journal of Cognitive Neuroscience, 22*(8), 1844–1851.

Rüther, N. N., Tettamanti, M., Cappa, S. F., & Bellebaum, C. (2014). Observed manipulation enhances left fronto-parietal activations in the processing of unfamiliar tools. *PLoS One, 9*(6), e99401.

Sakreida, K., Effnert, I., Thill, S., Menz, M. M., Jirak, D., Eickhoff, C. R., ... Binkofski, F. (2016). Affordance processing in segregated parieto-frontal dorsal stream sub-pathways. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 69*, 89–112.

Salazar-López, E., Schwaiger, B. J., & Hermsdoerfer, J. (2016). Lesion correlates of impairments in actual tool use following unilateral brain damage. *Neuropsychologia, 84*, 167–180.

Schubotz, R. I., Wurm, M. F., Wittmann, M. K., & von Cramon, D. Y. (2014). Objects tell us what action we can expect: Dissociating brain areas for retrieval and exploitation of action knowledge during action observation in fMRI. *Frontiers in Psychology, 5*, 636.

Senna, I., Bolognini, N., & Maravita, A. (2014). Grasping with the foot: Goal and motor expertise in action observation. *Human Brain Mapping, 35*(4), 1750–1760.

Sirigu, A., Cohen, L., Duhamel, J. R., Pillon, B., Dubois, B., & Agid, Y. (1995). A selective impairment of hand posture

for object utilization in apraxia. *Cortex, 31*(1), 41–55.

Smith, L. B., Street, S., Jones, S. S., & James, K. H. (2014). Using the axis of elongation to align shapes: Developmental changes between 18 and 24 months of age. *Journal of Experimental Child Psychology, 123*, 15–35.

Squires, S. D., Macdonald, S. N., Culham, J. C., & Snow, J. C. (2016). Priming tool actions: Are real objects more effective primes than pictures? *Experimental Brain Research, 234*(4), 963–976.

Stegmayer, K., Bohlhalter, S., Vanbellingen, T., Federspiel, A., Moor, J., Wiest, R., ... Walther, S. (2016). Structural brain correlates of defective gesture performance in schizophrenia. *Cortex, 78*, 125–137.

Sunderland, A., Wilkins, L., Dineen, R., & Dawson, S. E. (2013). Tool-use and the left hemisphere: What is lost in ideomotor apraxia? *Brain and Cognition, 81*(2), 183–192.

Tucker, M., & Ellis, R. (1998). On the relations between seen objects and components of potential actions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 24*(3), 830–846.

Tyler, L. K., Chiu, S., Zhuang, J., Randall, B., Devereux, B. J., Wright, P., ... Taylor, K. I. (2013). Objects and categories: Feature statistics and object processing in the ventral stream. *Journal of Cognitive Neuroscience, 25*(10), 1723–1735.

Tyler, L. K., Stamatakis, E. A., Bright, P., Acres, K., Abdallah, S., Rodd, J. M., & Moss, H. E. (2004). Processing objects at different levels of specificity. *Journal of Cognitive Neuroscience, 16*(3), 351–362.

Watson, C. E., & Buxbaurn, L. J. (2015). A distributed network critical for selecting among tool-directed actions. *Cortex, 65*, 65–82.

Yoon, E. Y., Humphreys, G. W., & Riddoch, M. J. (2010). The paired-object affordance effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 36*(4), 812–824.

Two kinds of action representation in manipulable object recognition

YU Wenyuan; LIU Ye; FU Xiaolan

(*State Key Laboratory of Brain and Cognitive Science, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100101, *China*) (*Department of Psychology, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*)

Abstract: A number of researches suggest that dorso-dorsal stream represents grasping action and ventro-dorsal stream represents using action. They form structure-based action representation and function-based action representation respectively, which play a role in manipulable object representation and recognition. Difference exists between the two kinds of action representation in neural substrates, activation condition, time course, and their relationships with long-term memory. Researches on the two kinds of action representation not only demonstrate the importance of action information for manipulable object recognition, but also provide implication for further researches on how manipulable objects are represented in human brain.

Key words: “Grasp” and “Use” systems; structure-based action representation; function-based action representation; object recognition